

研究速報

UDC 539.56 : 620.178.22 : 669.15'26-196 : 669.141.25

計装化シャルピー試験による 13Cr ステンレス鋳鋼の動的破壊靱性測定*

小 林 俊 郎**

Measurement of Dynamic Fracture Toughness of 13%Cr Cast Stainless Steel by Instrumented Charpy Test

Toshirō KOBAYASHI

Synopsis:

Instrumented Charpy impact test has many excellent features to measure the fracture toughness of materials. Several problems derived from conducting this method are presented and a very convenient procedure to measure the J integral value of 13%Cr cast steel is introduced.

弾性または弾塑性破壊力学によつて、材料の破壊靱性を求める方法が種々提案されている。特に後者の方法によれば小型試験片を用いて COD, J 積分値などを比較的簡便に求められる。しかしこの場合も、あくまで平面歪状態下での数値が望まれるわけで試験片寸法に制約が現われる。間違つたデータによる解析は、有害であるばかりでなく、特に材料技術者に対し混乱を与え問題の本質を見誤らせる危険をはらんでいる。早急に簡便で正確な破壊靱性試験法を確立する必要があるといえる。材料試験としての立場からいえば、現在広く普及しているシャルピー試験程度の手軽さで行えることが理想である。

筆者は従来より計装化シャルピー衝撃試験法により、簡便に動荷重下での破壊靱性値 (K_{Ia}) を求める方法を検討しているが¹⁾、動荷重下では(1)破壊靱性値の下限値を求められる(2)脆性き裂が伝播停止する時の破壊靱性値 (K_{IA}) を推定できる(3)より小型の試験片で valid 値を求められる、などの多くの有利さをもっている。ここでは本法により、13%Cr 鋳鋼(C0.066%, Cr12.10% のもので、Ni 3.62%, Mo 0.47% を含有した焼準一焼もどし材)を対象に、現段階で最も簡便に J 積分値を求めることができると思われる一方法について述べる。

まず計装化シャルピー試験によつて K_{Ia} を求めるには、低応力脆性破壊を実現させ、その時の弾性破壊荷重より求める方法がある。この場合衝撃に伴う振動波が重畳するので、真の破壊荷重は破壊が生じるまでの時間を計測して推定するか²⁾、または低速(1 m/s ぐらいが適当)の衝撃速度下で試験する。前者の場合には、き裂が成長を開始する荷重点を確認する必要がある。また高速破壊のため、ロード・セルの動特性および計装化増幅装置の周波数特性の確認が必要である。このように線型弾

性破壊力学を用いた解析では、測定上はもちろん、室温付近で低応力破壊を実現することが通常のシャルピー試験片では困難な欠点がある。

このようなことから、現在最も簡便に K_{Ia} を推定する方法として RICE の提案³⁾による深切欠試験片(切欠深さ比 60% 以上)を用い、き裂発生時のエネルギーより J 積分値を求めて行うのが最も有望であるといえる。実験には 50 kgm 容量の計装化試験機(アンビル可変式で種々の試験片サイズで行えるように改造。また衝撃引張試験も行えるように設計してある)を用いた。なお本計装化装置の周波数特性すなわち振幅が 10% 減衰する時の周波数 $f_{0.9dB} = 42 \text{ kHz}$ であり、これより応答時間 $T_R = 8.3 \mu\text{s}$ であつた。またロード・セルの動特性も、実験目的に十分合致するものであることを確認した²⁾。

いま J 積分値を求めるには、付加した疲労き裂の成長開始点を求める必要がある。特に動荷重下でこのような検定を行うには困難も多いが、ここでは試験片側面き裂先端に導電性塗料(藤倉化成製ドータイト D-500)をぬり、その時の電圧変化を調べることから行つた。この時の状況を Fig. 1 に示す。これより最大荷重点が、き裂発生点に対応することを確認した。これより RICE による次式

$$J = \frac{2E_1}{B(W-a)} \dots \dots \dots (1)$$

B : 試験片板厚 W : 試験片幅 a : き裂長さ

E_1 : き裂発生エネルギー

より J 値を求め、

$$J = G = \frac{(1-\nu^2)K_I^2}{E} \dots \dots \dots (2)$$

E : ヤング率 ν : ポアソン比 G : エネルギー解放率が成立するとして K_{Ia} 値を推定した。この時 E_1 には、

* 昭和 54 年 2 月 8 日受付 (Received Feb. 8, 1979)

** 名古屋大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Nagoya University, Furo-cho Chikusa-ku Nagoya 464)

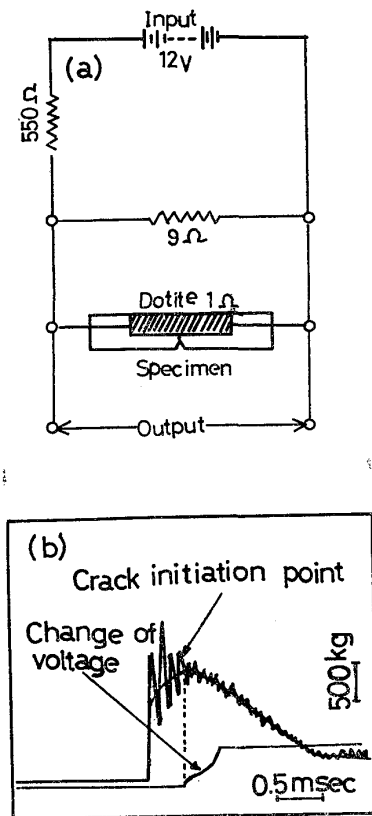


Fig. 1. Circuit diagram for the detection of crack growth point (a) and its test result in the instrumented Charpy test (b).

試験機自体の変形による分も含まれるため、これを補正する必要がある。試験機のコンプライアンスを C_m 、試験片のそれを C_s とすると、 $C_t = C_m + C_s$ として、次式で補正される。

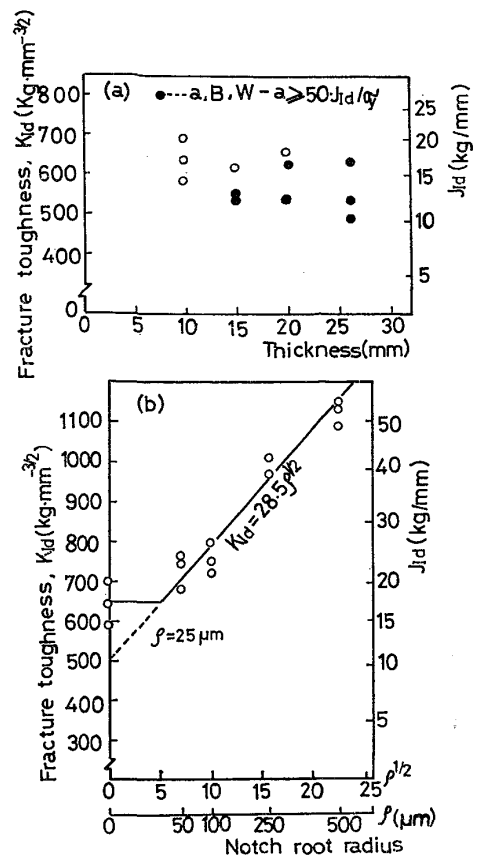
$$E'_1 = E_1 \times C_s / C_t \dots \dots \dots (4)$$

ここで C_m は弾性荷重による low blow test²⁾ を行うことから、 $C_m = 1.02 \times 10^{-4} \text{ mm/kg}$ をえた。一方 C_s は、3点曲げ(無溝)の場合次のように与えられる²⁾。

$$C_s = l^3 / 4EBW^3 \cdot [1 + 2.85(W/l)^2 - 0.84(W/l)^3] \dots \dots \dots (5)$$

l : 支点間距離

このようにして求めた K_{Id} 値を試験片寸法(標準シャルピー試験片の各部を 2.5 倍にまで拡大したものを)を変えて求めると Fig. 2(a) のようで、ASTM の valid 基準、 $a, B, W-a \geq 2.5 (K_I / \sigma_Y)^2$ は満すまでにはいたっていないが (σ_Y はシャルピー試験機による衝撃引張試験で実測した降伏応力)、 J 値の平面歪状態での条件⁴⁾、 $a, B, W-a \geq 50 \cdot J / \sigma_Y$ は満足した(図中の黒点)。また試験片寸法による K_{Id} の変化も見られないので、ほぼ妥当な値がえられていると考える。一方標準寸法の試験片の K_{Id} 値は、Fig. 2(b) に示すように切欠先端半径の平方根に比例し、 $\rho = 25 \mu\text{m}$ 以下では一定値となる傾向を見出した。これは切欠先端での塑性域が、切欠形状によつて変化するためである。このような点を配慮すれ



(a) Fatigue cracked specimen
(b) Standard size specimen

Fig. 2. The effect of specimen size (a) and notch root radius (b) upon the fracture toughness value.

ば、わずらわしい操作である疲労き裂を発生させなくても、標準Vノッチ・シャルピー試験でのき裂発生エネルギーの測定から、Fig. 2(b) に示すような相関によつて K_{Id} 値を推定することが今後可能になるかもしれない。

なお、ここで述べた RICE による J 値の求め方、また K 値との相関等については、さらに今後検討すべき事項が残されているが、少なくとも鋳鉄の場合には大型試験との対応において、このような推定の妥当性を認めている⁵⁾。

最後に本研究に対し、御助言賜りました豊橋技術科学大学西成基先生に感謝の意を表します。また本研究は、昭和 53 年度文部省科学研究費補助金によつたものであることを付記する。

文 献

- 1) 小林俊郎: 日本金属学会報, 12 (1973), p. 546
- 2) 西 成基, 小林俊郎, 河部昭雄, 遠山直人: 鋳物, 49 (1977), p. 222
- 3) J. R. RICE, P. C. PARIS, and J. G. MERKLE: ASTM STP 536 (1973), p. 231
- 4) P. C. PARIS: ASTM STP 514 (1972), p. 21
- 5) 西 成基, 小林俊郎, 遠山直人: 鋳物, 50 (1978), p. 73